

На правах рукописи
УДК 551.510



ХУТОРОВА Ольга Германовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ
ПРИМЕСЕЙ И МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ПО СИНХРОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ
В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ**

специальность 25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Санкт-Петербург - 2005

Работа выполнена в Казанском государственном университете

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Ивлев Лев Семенович

доктор физико-математических наук
Генихович Евгений Львович

доктор физико-математических наук
Горчаков Геннадий Ильич

Ведущая организация: Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Защита состоится 28 сентября 2005 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 327.005.01 в Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова по адресу: 194021, С. Петербург, ул. Карбышева, д.7.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова

Автореферат разослан 11 августа 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 327.005.01
доктор географических наук

А. Мещер

А.В. Мещерская

2006-4
11848

2164461

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Одной из важнейших задач физики атмосферы является исследование закономерностей пространственно-временных вариаций атмосферных примесей, в том числе все возрастающих в последнее время загрязнений. В настоящее время исследования структуры атмосферных примесей переходят из стадии описательной в стадию развития методик прогноза загрязнений. Надо отметить, что наряду с турбулентными явлениями при решении этих задач необходимо учитывать и волновые процессы, начиная с самых малых и кончая планетарными масштабами. Тонкую структуру полей метеопараметров и концентрации аэрозоля необходимо учитывать при оценке точностных характеристик радиотехнических систем, использующих тропосферный радиоканал.

Несмотря на кажущуюся простоту вопроса, обусловленную многолетними исследованиями динамических атмосферных процессов, до сих пор нет четких количественных закономерностей взаимодействия волновых атмосферных процессов и атмосферных загрязнений, таких как аэрозоль и малые газовые составляющие. В связи с этим актуальность задачи выделения характерных масштабов временных и пространственных вариаций примесных компонент атмосферы и сопоставления их с вариациями метеопараметров не вызывает сомнения.

В настоящее время в связи с решением экологических задач интенсивно развиваются модели распространения примесей в атмосфере. Прогнозируются как средние, фоновые концентрации примесей, перенос от известных источников, так и вероятности превышения определенного уровня концентрации. Учитываются турбулентные процессы, рельеф местности, метеорологическая обстановка, статистические характеристики процесса распространения. Однако, пространственно-временные вариации, вызванные атмосферными волнами, и их эмпирические закономерности изучены в меньшей степени.

Модели переноса примесей в атмосфере, разработанные как зарубежными, так и российскими коллективами, в том числе ГГО, ИВМ РАН, ИФА, Сибирского научного центра, МГУ и др., хорошо известны во всем мире. Наиболее точные из них учитывают тонкую пространственную структуру полей метеозлементов, в том числе мезомасштабные и синоптические атмосферные вариации. В то же время, в приземном слое, как мезомасштабные, так и планетарные вариации атмосферных параметров и, особенно, загрязняющих примесей, остаются наименее исследованными экспериментально, так как требуют значительных затрат на проведение наблюдений. Эмпирические исследования мезомасштабной структуры атмосферы требуют организации сети станций, разнесенных на относительно малые расстояния, измерения концентрации примесей и других атмосферных параметров требуется проводить с большой частотой. В США, Японии, Западной Европе организуются такие сети станций, измеряющих атмосферные примеси. В России таких экспериментальных

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

С.Петербург

93 000 593

исследований пока мало. Часто эксперименты проводятся эпизодично, что не дает статистически надежных результатов. В свою очередь, собранные экспериментальные данные требуют правильной интерпретации, так как все исследователи отмечают сильные пространственные и временные вариации концентраций различных газовых примесей и аэрозолей в атмосфере.

Исследования временных закономерностей мезомасштабных и планетарных вариаций атмосферных примесей могли бы помочь и в изучении детальных характеристик самих волновых параметров атмосферы, рассматривая малые газовые примеси и аэрозоль в качестве надежных трассеров.

Атмосферные процессы условно делятся на крупномасштабные, планетарных размеров, синоптические, т.е. среднего масштаба, мезомасштабные и локальные, которые имеют размеры от нескольких сотен километров и менее (вплоть до турбулентных масштабов). Различна их физическая природа и способы генерации (свободные, вынужденные колебания и т.п.) Различаются и свойства их распространения в атмосфере, в том числе и волноводные условия.

Несмотря на очень большое количество экспериментальных и теоретических исследований, изучение пространственно-временных вариаций атмосферных параметров еще далеко от завершения. Появление в последнее время большого числа новых данных о волновых процессах на различных высотных уровнях, в том числе по спутниковым измерениям, заставляет пересмотреть представления о волновых процессах в приземном слое, в частности, для средних широт. Это относится как к планетарным, так и мезомасштабным волнам.

К числу важных задач исследования пространственно-временных вариаций атмосферных параметров надо отнести необходимость их учета для решения задач дистанционного мониторинга, поскольку от тонкой структуры атмосферных параметров зависит структура коэффициентов преломления и ослабления радиоволн. Эти характеристики и их тонкую структуру особенно важно исследовать для радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов, которые широко используются для целей радиозондирования, радиоастрономии, спутниковой радиолокации и радионавигации.

В существующей ситуации желательна постановка специального эксперимента для проведения многолетних измерений на сети станций атмосферного мониторинга, на которых бы производились синхронные ежеминутные измерения метеопараметров и примесей для детального изучения закономерностей пространственно-временной структуры мезомасштабных и планетарных процессов высоких мод.

Цель диссертационной работы состоит в решении фундаментальной научной проблемы исследования пространственно-временных закономерностей структуры локальных, мезомасштабных, синоптических и внутрисезонных вариаций массовой концентрации аэрозоля, малых газовых примесей и атмосферных параметров по результатам многолетних синхронных ежеминутных измерений на сети станций атмосферного мониторинга в приземном слое.

Задачами данной работы являются

1. Теоретическая разработка методики обработки синхронных временных рядов для надежного определения волновых параметров по ежеминутным данным о концентрации газовых примесей (окись и двуокись азота, окись углерода, двуокись серы, сероводород), массовой концентрации аэрозоля, атмосферных параметров (температура, давление, относительная влажность, азимут и скорость ветра), измеренным сетью станций. Методика должна быть специально предназначена для определения пространственно-временных параметров структуры волновых мезометеорологических, синоптических и внутрисезонных процессов с целью установления их физической природы и механизма их влияния на тонкую динамику атмосферных примесей.
2. Эмпирическое исследование пространственных и временных вариаций мезомасштабных волновых процессов с периодами 5 мин – 16 час, их сезонных зависимостей, физической природы, энергетических соотношений, эмпирических поляризационных и дисперсионных соотношений для масштабов 1-150 км, их фазовых скоростей и закономерностей направления распространения приземных мезомасштабных волн.
3. Исследование синоптических и внутрисезонных вариаций с периодами от 3 до 64 суток, эмпирических закономерностей их влияния на пространственную и временную структуры метеопараметров, аэрозоля и малых газовых составляющих; определение эмпирических распределений фазовых скоростей, энергетических, поляризационных соотношений.
4. Оценка интенсивности сезонных, суточных, синоптических, внутрисезонных и мезомасштабных процессов и их вклада в общую дисперсию каждого из атмосферных параметров, включая примеси.
5. В качестве приложения полученных закономерностей тонкой структуры приземной атмосферы оценить влияние мезомасштабных атмосферных неоднородностей на коэффициент преломления, угол рефракции, а также ослабление радиоволн миллиметрового и сантиметрового диапазонов за счет рассеяния и поглощения радиоволн этих диапазонов взвешенными частицами.

Методы исследования

Решение поставленных задач базируется на данных многолетнего эксперимента сети станций ежеминутных синхронных измерений, использовании современных методов аппарата случайных функций, корреляционного, спектрального и вейвлет анализа, с использованием современной технологии вычислительного эксперимента, статистических методов.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы определяются использованием адекватного математического аппарата, метрологической обеспеченностью измерительных устройств. Основные результаты получены на статистически надежных длительных рядах (1996-2003 гг.) натурных синхронных измерений в 9 пунктах, и проверены путем

сравнения с теоретическими и экспериментальными данными, полученными другими авторами. Для увеличения надежности все волновые параметры измерялись также в каждом измерительном пункте синхронно для нескольких примесей и метеопараметров независимо (разными приборами).

Положения, выносимые на защиту

1. Методика обработки синхронных временных рядов для выделения вариаций и оценки волновых параметров по измерениям газовых примесей (окись и двуокись азота, окись углерода, двуокись серы, сероводород), массовой концентрации аэрозоля, атмосферных параметров (температура, давление, относительная влажность, азимут и скорость ветра) в пространственно разнесенных пунктах.
2. Эмпирические закономерности пространственно-временной структуры локальных и мезомасштабных процессов с периодами 5 мин – 16 час, энергетические соотношения, закономерности направления распространения приземных мезомасштабных волн и их связь с другими параметрами, эмпирические поляризационные и дисперсионные соотношения для масштабов 1-150 км, распределения фазовых скоростей, периодов и длин волн, их сезонные зависимости.
3. Эмпирические закономерности пространственной и временной структуры синоптических и внутрисезонных процессов с периодами от 3 до 64 суток для приземных метеопараметров, концентраций аэрозоля и малых газовых примесей; распределения фазовых скоростей и других параметров, их сезонные зависимости; эмпирические энергетические и поляризационные соотношения.
4. Результаты оценки интенсивности сезонных, суточных, синоптических, внутрисезонных и мезомасштабных процессов и их вклада в общую дисперсию каждого из атмосферных параметров, включая примеси.
5. Результаты оценки влияния мезомасштабной пространственной структуры атмосферных параметров и примесей на коэффициент преломления и ослабление радиоволн миллиметрового и сантиметрового диапазонов и характеристики распространения радиоволн.

Научная новизна работы

1. Впервые теоретически обоснована, разработана и внедрена методика выделения перемещающихся волновых возмущений по многолетним синхронным измерениям атмосферных примесей и метеопараметров на сети станций в приземном слое. Методика разработана с использованием вейвлет и взаимного вейвлет анализа. Она позволяет исследовать волновые вариации в широком спектре временных и пространственных масштабов, а также построить эмпирическую модель связи вариаций приземных примесей с волновыми атмосферными процессами.
2. Впервые получены статистически надежные эмпирические пространственно-временные закономерности мезомасштабных, синоптических и

планетарных волновых процессов приземного слоя в интервале 1-7000 км для периодов 5 мин – 60 суток по синхронным ежеминутным измерениям 5-ти атмосферных и 6-ти примесных параметров в 9 пунктах Татарстана. Обнаружено, что направление распространения приземных мезомасштабных вариаций примесей и метеопараметров зависит от азимута среднего ветра.

3. Впервые найдены эмпирические поляризационные соотношения, которые определяют фазовые сдвиги между вариациями атмосферных примесей и метеопараметров для мезомасштабных, синоптических и планетарных волн (фазовые сдвиги зависят от масштабов волн).
4. С большой статистической надежностью определены эмпирические энергетические характеристики (упругая, термобарическая, горизонтальная кинетическая виды энергий) для всех исследованных типов волн в приземном слое атмосферы.
5. В диапазоне широт 53-55 град. в приземных примесях и других атмосферных параметрах впервые были обнаружены волны, которые по совокупности найденных характеристик могут быть отнесены к волнам Кельвина, хорошо известным в тропических широтах и на стратосферных высотах средних широт.
6. Впервые сделаны оценки влияния мезомасштабных атмосферных процессов на ослабление и рефракцию радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазона в приземном слое.

Научная и практическая значимость работы, внедрение результатов исследований.

Полученные пространственно-временные закономерности мезомасштабных, синоптических и внутрисезонных вариаций в широком диапазоне длин волн, периодов и фазовых скоростей вместе с закономерностями взаимосвязи примесей и метеопараметров могут служить эмпирической моделью, которая описывает многие волновые явления в приземном слое атмосферы. Большие возможности использования полученных закономерностей в исследованиях динамики и прогноза тонкой структуры пространственно-временных вариаций атмосферных загрязнений.

Как уже отмечалось ранее, все больше развиваются радиометоды дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности, использующие миллиметровый и сантиметровый радиодиапазоны. Результаты работы позволяют получить пространственно-временную модель коэффициента преломления и коэффициента ослабления в заданном диапазоне радиоволн. Знание закономерностей поведения неоднородной структуры индекса рефракции в тропосфере позволяет применить результаты диссертации для прогноза оперативной радиолокационной обстановки, особенно в задачах радиолокации под малыми углами места.

Полученные результаты имеют дополнительную практическую ценность, поскольку обладают высокой статистической достоверностью, ввиду исполь-

зования экспериментальных измерений продолжительного непрерывного мониторинга состояния воздуха и атмосферных загрязнений для большого числа исследуемых параметров. Практическая ценность работы подтверждается пятью актами внедрения результатов диссертации, представленными в приложении.

Научная ценность работы подтверждается поддержкой исследований автора грантами различного уровня.

В качестве научного руководителя: Российский Фонд фундаментальных исследований (проекты № 01-05-64390, № 04-05-64194), Минобразования (проект № 03-213-507), Фонд НИОКР Республики Татарстан (проекты № 09-9.4-52/2002ф, № 09-9.5-165/2003ф). Работы по данной тематике поддержаны также грантами, где автор принимала участие в качестве ответственного исполнителя и исполнителя: Российский Фонд фундаментальных исследований (проект № 03-05-96211), фонд НИОКР Республики Татарстан (проекты № 09-9.4-65/2000ф, № 09-9.5-187/2003ф), программа «Университеты России» (проект № УР 01.01.074). Личное участие в международных конференциях было поддержано грантами РФФИ № 00-05-74765 (2000), № 03-05-74735 (2003), № 04-05-74678 (2004), грантами Европейского аэрозольного общества Gaef (1999, 2003).

Имеются работы, выполненные совместно с ГНЦ ВБ «Вектор» (Новосибирский научный центр). Работа представляет интерес для зарубежных исследователей.

В Казанском государственном университете результаты работы были использованы при разработке учебного курса «Радиофизические методы исследования атмосферы, ионосферы и космоса» для направления магистратуры 511503 - «Электромагнитные волны в средах», учебного курса для аспирантуры «Физика нижней и средней атмосферы» при подготовке аспирантов по специальности 25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы», а также при выполнении курсовых, дипломных, бакалаврских работ и магистерских диссертаций.

Личный творческий вклад автора

В диссертации подробно излагаются лишь те результаты, вклад автора в которые был существенным на всех этапах работы. Автор внесла основной вклад в постановку задач исследований, теоретическую разработку конфигурации сети станций и методики выделения волновых параметров по синхронным измерениям, программную реализацию методики, анализ и интерпретацию полученных данных, подготовку публикаций. Автору принадлежат все выводы и научные положения настоящей работы.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на международных конференциях: European Aerosol Conference – EAC 1999, Прага; EAC 2001, Лейпциг; EAC 2003, Мадрид; EAC 2004, Будапешт; Conference on aerosol and Atmospheric Optics, Вена, 2000; Международной аэрозольной конференции памяти

проф. Сутугина А.М. Москва, 2000; American Association of Aerosol Research Meeting, США, 2003, 2004.

На всероссийских симпозиумах, конференциях, семинарах и совещаниях: Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Казань, 1999; Нижний Новгород, 2002, Йошкар-Ола, 2005; VI - XI Рабочих группах "Аэрозоли Сибири", Томск - 1999, 2000, 2002, 2003, 2004; Всероссийской научной конференции «Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы» Москва, 2002, XXIII Всероссийском Симпозиуме «Радиолокационное исследование природных сред», Санкт-Петербург, 2005.

Публикации

По теме диссертации опубликовано всего 102 печатные работы, в том числе авторская монография «Волновые процессы в приземной атмосфере по синхронным измерениям примесей и метеопараметров». Опубликованы статьи в ведущих научных журналах: «Известия РАН, Физика атмосферы и океана», «Доклады РАН», «Метеорология и гидрология», «Оптика атмосферы и океана», «Геомагнетизм и аэрономия», «Journal of Aerosol Sciences», «Atmospheric Environment», «Environmental Radioecology and Applied Ecology» и др..

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Она содержит 308 страниц основного текста, 92 иллюстрации, 18 таблиц, список цитируемой литературы из 390 наименований и 3 приложения.

Основное содержание диссертации

Во введении сформулированы актуальность темы, цель и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость.

Первая глава содержит анализ современного состояния исследований, имеющих отношение к проблеме - атмосферные процессы различного масштаба и атмосферные загрязнения в приземном слое атмосферы.

Показано, что в различные годы большой вклад в развитие исследований динамической и волновой структуры атмосферы внесли Голицын Г.С., Госсард Э., Дикий Л.А., Монин А.С. и многие другие. Распространение и пространственно-временное распределение примесей исследовали Берлянд М.Е., Лайхтман Д.Л., Марчук Г.И. и многие другие.

В настоящее время в связи с решением экологических задач интенсивно развиваются модели распространения примесей в атмосфере. Наиболее развитой методикой расчета различных характеристик концентраций атмосферных примесей следует считать гидродинамическое моделирование, основанное на решении уравнения турбулентной диффузии. Параметрами этого уравнения являются метеоусловия, орография, характеристики источников примесей. Вариации источников примесей, суточные и сезонные вариации метеорологических условий, создают вариации полей концентрации атмосферных примесей.

Наибольшее количество экспериментальных работ исследует суточные и сезонные вариации атмосферных примесей, так как именно эти вариации имеют очевидную связь с антропогенными источниками примесей и самыми мощными вынужденными процессами, связанными с изменением энергетики приземного слоя.

Установлено, что на формирование пространственно-временных характеристик полей атмосферных параметров влияют атмосферные процессы, взаимодействующие друг с другом. Различная физическая природа этих сил приводит к тому, что им соответствуют различные по структуре и по масштабам движения. Современные теоретические и экспериментальные исследования планетарных процессов показали, что волны Россби и волны Кельвина являются основными причинами синоптических и внутрисезонных колебаний метеопараметров. Дан обзор исследований внутренних гравитационных волн и других мезомасштабных процессов. Показано, что в энергетических соотношениях отражается природа атмосферных вариаций. Рассмотрены работы о влиянии орографии на формирование атмосферных волн в приземном слое.

Показано, что атмосферные волновые процессы могут быть одной из причин временной и пространственной изменчивости примесей. В свою очередь примеси могут служить индикатором волновых движений. Рассмотрены особенности приземного слоя атмосферы. Динамика атмосферных течений зависит существенным образом от характеристик атмосферного приземного слоя, в котором происходит диссипация значительной части кинетической энергии атмосферы.

Появление в последнее время большого числа новых данных о волновых процессах на различных высотных уровнях, заставляет пересмотреть представления о волнах в приземном слое, в частности, для средних широт. Это относится как к планетарным, так и мезомасштабным явлениям. Малоизученной областью остается исследование планетарных и мезомасштабных волн высоких мод, особенно их пространственных и энергетических характеристик в приземном слое.

Надо отметить, что, несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований, изучение динамических процессов в атмосфере далеко от завершения. Особенно мало экспериментальных исследований проявления волновых процессов различного масштаба в неоднородностях приземных атмосферных примесей.

На основании проведенного анализа сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе описаны экспериментальная аппаратура, полученные временные ряды атмосферных параметров и примесей. Дана методика исследования временных и пространственных вариаций атмосферных параметров

Рассмотрена сеть станций атмосферного мониторинга, измеряющая метеопараметры и примеси в приземном слое атмосферы. Приведены конструкция станций атмосферного мониторинга и технические характеристики приборов.

Измерительный комплекс каждой станции состоит из приборов, изготовленных в ФРГ. Станции производят измерения концентрации таких примесей, как окись азота, двуокись азота, двуокись серы, окись углерода и массовую концентрацию аэрозоля. Отбор проб проводится автоматически при постоянной температуре. Одновременные измерения концентрации CO , NO , NO_2 , H_2S , SO_2 проводятся на высоте 2,4 метра с интервалом 1 мин. С той же частотой станции измеряют значения метеопараметров – температуры, относительной влажности, давления, скорости и направления ветра. Время измерения массовой концентрации аэрозоля – 30 мин.

Методы измерения концентраций и точности измерения примесей представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Характеристики приборов, измеряющих атмосферные примеси

Параметр	Метод измерения	Разрешающая Способность
CO	Абсорбция ИК излучения	0.1 ppm
NO , NO_2	хемолюминисценция	1 ppb/0.5 ppb
H_2S	УФ флуоресценция	1 ppb
SO_2	УФ флуоресценция	1 ppb
аэрозоль	Абсорбция β - излучения (фильтр)	1 мкг/м ³

С 1995 г. в Татарстане проводятся измерения концентрации различных загрязняющих примесей воздуха и метеопараметров. Пункты измерения находятся в гг. Зеленодольске, Казани, Альметьевске и Азнакаево. Станции про-

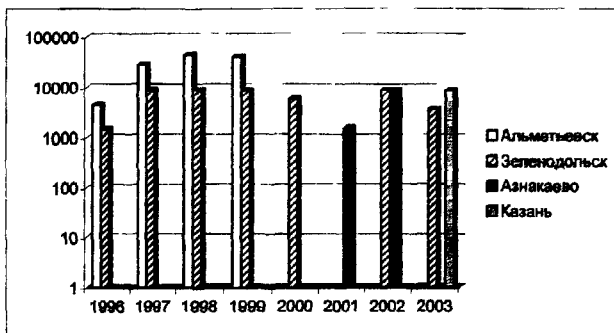


Рис. 1 Число часов наблюдений для каждого пункта

странственно разнесены на расстояния от 0,9 до 310 км, что позволяет исследовать пространственную структуру вариаций параметров атмосферы в широком диапазоне масштабов. На Рис.1 приведены данные по числу часов наблюдений для каждого пункта

в год. Общее количество часов работы всех станций – 181032.

В главе описан используемый математический аппарат, применяемый для исследования временных и пространственных вариаций. Аппарат основан на развитии цифровых методов анализа временных рядов.

Разработана методика оценки пространственных параметров перемещающихся возмущений во временных рядах, полученных в разнесенных пунктах с использованием спектрального, вейвлет и взаимного вейвлет анализа. Обзор работ, посвященных исследованию волновых процессов в атмосфере, показывает, что реления в виде перемещающихся возмущений ищутся обычно в виде гармонического сигнала. Атмосферные волны вызывают вариации метеопараметров, когерентные в пространстве.

По длинным рядам измерений концентрации аэрозоля и газовых примесей и метеопараметров, измеренных на станциях, разнесенных в пространстве, проводится оконное Фурье преобразование внутри скользящего временного окна или вейвлет преобразование с материнской функцией Морле с целью выделения квазипериодических вариаций с различными периодами синхронно по нескольким рядам.

В полученных Фурье или вейвлет спектрах, привязанных к одному периоду времени, выбраны значимые возмущения атмосферных параметров, выявленные одновременно на всех станциях. Уровень значимости выбран равным 80 %, так, чтобы превышение этого уровня обеспечивало соотношение сигнал/шум в 10 раз превышающее средний уровень для самых слабых вариаций – мезомасштабных. Амплитуды спектров отражают интенсивность вариации. Таким образом, для каждого измеряемого параметра устанавливались периоды вариаций, их амплитуды и временная локализация.

Фазовая часть вейвлет преобразования, соответствующая времени локализации максимальной амплитуды возмущения, на каждой из станций имеет различные значения. Но разность фаз в каждой паре пунктов постоянна, пока волна существует. Это также свидетельствует о волновых процессах, распространяющихся в пространстве, причем вейвлет преобразование локализует эти процессы во времени.

Одновременные фазовые спектры, полученные в пространственно разнесенных пунктах, позволяют оценить фазовые скорости перемещения волновых возмущений C , их пространственные размеры λ . Горизонтальные размеры перемещающихся возмущений можно оценить с помощью решения системы N уравнений линейной регрессии:

$$\Delta\varphi_k = \frac{2\pi}{\lambda_x} x_k + \frac{2\pi}{\lambda_y} y_k, \quad k=1..K \quad (1)$$

где $\Delta\varphi_k$ – фазовые сдвиги, x_k , y_k – декартовы координаты пунктов, λ_x , λ_y – размеры неоднородности по соответствующим осям, K – число пространственно разнесенных пунктов.

Фазовые скорости вычисляются как

$$C = \frac{\lambda}{T}, \quad (2)$$

где T – временной масштаб вариации или период волны, полученный с помощью спектрального или вейвлет анализа.

Разработана методика оценки параметров атмосферных вариаций с помощью кросс вейвлет анализа. Взаимный вейвлет спектр, полученный с помощью материнской функции Морле, показывает относительный уровень связи периодических компонент различных временных масштабов в различные моменты времени. Фазовая часть содержит информацию о сдвиге времени максимума вариации соответствующего временного масштаба в одном ряду относительно другого. Отбор событий, которые в дальнейшем считаются перемещающимися волновыми возмущениями, происходит при удовлетворении их следующим условиям.

- Превышение амплитуды взаимного вейвлет спектра 80 % уровня значимости при высоких амплитудах вариаций в каждом из пунктов.
- Фазовая часть кросс вейвлет преобразования, соответствующая времени локализации максимальной амплитуды возмущения, постоянна в течение существования волны.
- Фазовый вейвлет спектр превышает 80 % уровень значимости.

Кроме этого взаимный вейвлет анализ позволяет исследовать поляризационные соотношения вариаций параметров атмосферы, то есть, оценить сдвиг фаз между различными параметрами в волне. Это позволит исследовать природу вариаций атмосферных примесей для каждого диапазона периодов.

Даны оценки точности используемых методов.

Конфигурация сети станций и разработанная методика обеспечивает ошибки оценки фазовых сдвигов, которые дают возможность исследовать: мезомасштабные процессы с длинами волн от 1 до 157 км и фазовыми скоростями выше 0.5 м/с для сети пяти станций в г. Альметьевск; внутрисезонные процессы с длинами волн, не превышающих 6000 км (по базе Зеленодольск - Альметьевск) и 7000 км (по базе Зеленодольск - Азнакаево) и фазовые скорости относительно поверхности земли до 150 м/с.

Совокупность критериев превышения уровня значимости не только для амплитудного, но и для фазового спектров, проверка уровня значимости и оценка параметров волн по каждой из пяти станций сети, проверка постоянства фазового спектра на протяжении жизни волны, проверка гипотезы линейности фазовой зависимости увеличивает статистическую надежность отбора волновых вариаций.

В третьей главе исследуются локальные и мезомасштабные вариации примесей и метеопараметров в приземном слое атмосферы по синхронным измерениям сети станций атмосферного мониторинга.

По длинным временным рядам сети станций в г. Альметьевск построены экспериментальные пространственные корреляционные функции метеопараметров и концентрации приземных примесей. В пространственной структуре концентрации примесей выявлены вихревые образования, определяемые стационарными динамическими мезомасштабными процессами, имеющими размеры 4 – 8 км.

Исследованы Фурье и вейвлет спектры временных рядов и оценены интенсивности мезомасштабных вариаций параметров атмосферы и примесей. Вы-

явлены основные моды вариаций параметров атмосферы. Рассчитаны характерные периоды значимых более чем с 80 % вероятностью мезомасштабных флуктуаций концентрации аэрозоля, малых газовых примесей, скорости ветра, температуры, давления с периодами 3-6, 12-18, 24-30 мин, 2-4, 6-10, 12-16 ч.

С помощью методики, описанной в гл.2, исследованы пространственные характеристики локальных и мезомасштабных вариаций параметров атмосферы и концентрации примесей. Гистограммы этих параметров для вариаций с периодами от 1 до 16 час представлены на Рис.2. Наиболее вероятные значения $\lambda_x = 2 - 30$ км, $C_x = 0.5 - 3$ м/с. Распределения для различных атмосферных

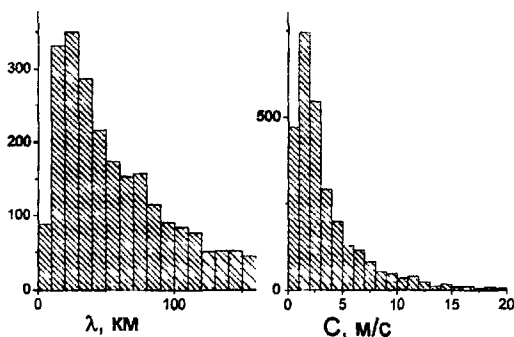


Рис. 2 Распределения горизонтальных длин волн λ и фазовых скоростей C для вариаций метеопараметров и примесей (периоды 1-16 час)

параметров совпадают с вероятностью 95% по критерию Пирсона, то есть, выборки параметров принадлежат к одной генеральной совокупности. Это означает, что вариации температуры, скорости ветра, относительной влажности, давления, а также концентраций малых газовых примесей и аэрозоля определяются теми же самыми атмосферными процессами.

С ростом периода средняя фазовая скорость

убывает, а средняя длина волны растет.

Исследована зависимость параметров волновых вариаций от направления и скорости среднего ветра, сезона. Зимой и летом выделяются более длинноволновые моды, чем весной и осенью. Средняя фазовая скорость распространения мезомасштабных вариаций летом максимальна – 6 м/с, зимой и осенью минимальна – 3.0 - 3.5 м/с.

Исследована зависимость азимутов прихода волновых возмущений от направления среднего ветра в приземном слое. На Рис.3 представлены наиболее вероятные значения азимутов прихода волновых возмущений в зависимости от направления ветра в приземном слое. Волновые вариации распространяются преимущественно с западного направления при восточном и северо-восточном ветре. Волновые вариации распространяются преимущественно с востока и юго-востока при западном и северо-западном ветре. При южном и северном ветре наблюдаются по два наиболее вероятных направления фронта вариаций. Наиболее вероятное направление прихода волн почти противоположно азимуту ветра, но имеет небольшую нормальную составляющую к направлению среднего потока.

Следующие результаты свидетельствуют о том, что вариации атмосферных примесей с периодами от 5 мин до 16 час вызваны ВГВ, источником которых служат орографические неоднородности поверхности:

- Периоды, горизонтальные фазовые скорости и длины волн исследованных вариаций соответствуют теоретическим и экспериментальным исследованиям ВГВ.
- Обнаружено, что направление распространения приземных мезомасштабных вариаций преимущественно зональное и зависит от азимута среднего ветра. Проверены дисперсионные соотношения для волновых атмосферных вариаций с периодами от 5 мин до 16 час. Получено, что дисперсионное соотношение этих вариаций соответствует дисперсионному соотношению для внутренних гравитационных волн.

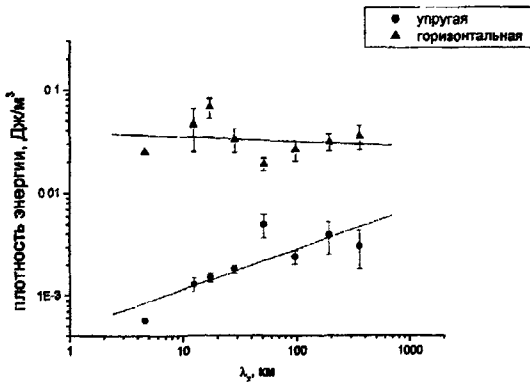


Рис. 4 Зависимость упругой и горизонтальной энергии от масштаба вариаций

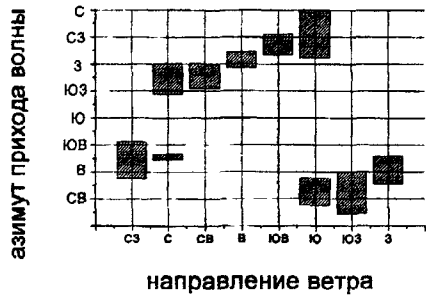


Рис. 3. Наиболее вероятные значения азимутов прихода волновых возмущений в зависимости от направления ветра в приземном слое

- Из наших расчетов следует, что кинетическая энергия волн составляет в среднем 75 % всей энергии, а среднее значение термобарической энергии в два раза превышает значение упругой энергии. Причем доля термобарической энергии в потенциальной растет с ростом периода, а упругая энергия возрастает с ростом фазовой скорости (Рис.4).

С использованием дисперсионного соотношения рассчитаны вертикальные пространственные масштабы вариаций, они меньше горизонтальных в среднем на два порядка (Рис.5).

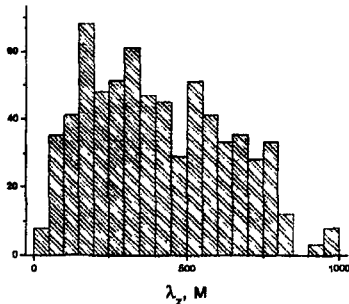


Рис. 5 Распределение вертикальных масштабов атмосферных вариаций с периодами 5 мин – 16 час.

Найдены экспериментальные поляризационные соотношения, которые связывают фазовые сдвиги между мезомасштабными вариациями атмосферных примесей и метеопараметров (Таблица 2).

Поляризационные соотношения и проведенный дополнительно взаимно корреляционный анализ показали, что вариации концентрации аэрозоля, двуокиси серы и диоксида азота синфазны с вариациями относительной влажности и температуры и противофазны вариациям скорости ветра.

Таблица 2

Наиболее вероятные значения сдвига фаз между вариациями различных атмосферных параметров: скорости ветра (V), относительной влажности (RH), концентрации двуокиси азота (NO_2), концентрации диоксида серы (SO_2) и массовой концентрации аэрозоля (ae)

Группа периодов				
	5-120 мин		2-16 час	
	среднее, °	среднеквадратическое отклонение, °	среднее, °	среднеквадратическое отклонение, °
$V-ae$	-37.23	64.75	177.73	84.69
$RH-ae$	-3.81	62.00	-5.86	58.67
$V-NO_2$	173.36	95.19	182.24	73.06
NO_2-ae	159.11	92.96	5.78	46.77
$V-SO_2$	-16.58	93.19	178.77	94.97
$RH-SO_2$	-2.91	85.29	60.36	89.81
SO_2-ae	-4.25	83.17	-39.61	106.88

Это соответствует модельным поляризационным соотношениям, полученным для пассивной консервативной примеси. Процессы, определяющие атмосферные выбросы и, перенос CO , NO_2 и NO имеют сильную взаимосвязь (коэффициент взаимной корреляции 0.7 - 0.9). Аэрозоль и газообразные компоненты, имеют значимую взаимную корреляцию (0.5 - 0.8) при опережении концентрации аэрозоля на 20 мин. Это, можно объяснить двумя факторами:

скоростью оседания аэрозоля большей, чем у CO и NO; временем переходных процессов истечения газа из частиц аэрозоля при увеличении инсоляции.

В четвертой главе найдены основные моды синоптических вариаций всех атмосферных параметров по наблюдениям сети станций атмосферного мониторинга, они же определяют вариации приземной концентрации белка по данным ГНЦ ВБ «Вектор» в Западной Сибири и периодическую структуру внутрисезонных процессов в приземном слое, обнаруженную по радиозондовым данным. Характерные периоды вариаций – 3-4, 7-10, 11-14, 20-30 и 40-60 суток. Пример вейвлет спектров массовой концентрации аэрозоля приведен на Рис.6. Он показывает часто встречающуюся ситуацию значимых периодических вариаций атмосферных примесей с временными масштабами 11, 15, 30 суток.

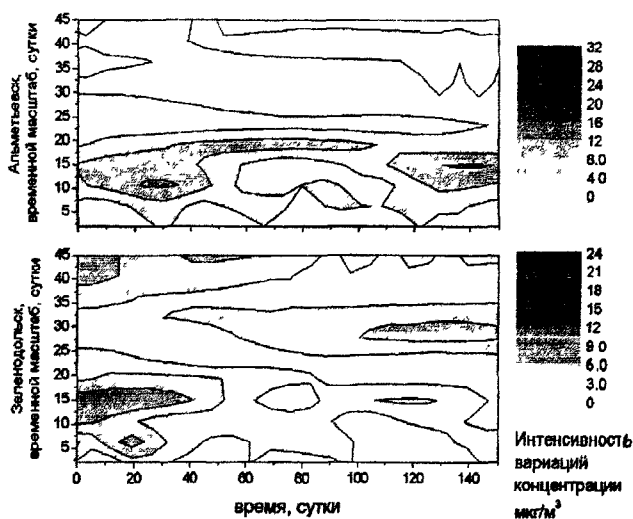


Рис. 6 Модули вейвлет преобразования рядов массовой концентрации аэрозоля в двух пунктах для периода с 01.04.97 по 01.09.97

Построены экспериментальные распределения фазовых скоростей и пространственных масштабов планетарных вариаций аэрозоля, газовых примесей и метеопараметров (Рис. 7), найдены их сезонные зависимости. Эти распределения с вероятностью 95 % по критерию Пирсона принадлежат к одной совокупности. Показано, что вариации всех исследуемых величин определяются одними и теми же синоптическими и внутрисезонными атмосферными процессами. На Рис.8 представлены зависимости пространственных характеристик внутрисезонных вариаций от периода процесса.

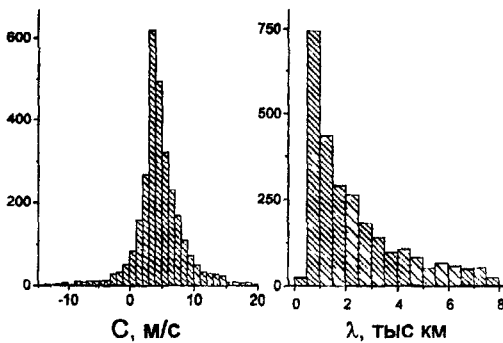


Рис. 7 Гистограммы пространственных характеристик внутрисезонных вариаций

По знаку фазовой скорости возмущения с внутрисезонными периодами разделились на две группы.

Для волн распространяющихся на восток, фазовые скорости обычно менее 10 м/с, кинетическая энергия на высоте 100 м приблизительно равна потенциальной, плотность кинетической энергии слабо растет с длиной волны. Показано, что фазовые скорости

возмущений атмосферных параметров, распространяющихся на восток, не имеют зависимости от периода, их периоды всегда более 8 суток. Все полученные зависимости этих вариаций согласуются с наблюдаемыми и теоретически рассчитанными соотношениями для волн Кельвина в стратосфере и тропосфере. Этот результат получен впервые для вариаций примесей в среднеширотной тропосфере.

Для волн, распространяющихся на запад, фазовые скорости в основном менее 15 м/с, кинетическая энергия на высоте 100 м составляет 46 % от общей энергии, плотность кинетической энергии слабо растет с длиной волны. Средняя плотность кинетической энергии для волн, распространяющихся на запад, постоянна, а термобарической растет с увеличением длины волны. Подавляющее количество волн, распространяющихся на запад, имеет периоды, меньшие 20 суток. Средние фазовые скорости вариаций падают с ростом периода. Все полученные зависимости этих вариаций согласуются с теоретическими соотношениями для волн Россби. Для волн, распространяющихся на запад, наблюдается тенденция к увеличению фазовой скорости в осенне-зимний период. Длина волны в среднем меньше летом и осенью. Видимо, это связано с тем, что летом и осенью проявляются более коротковолновые моды этих волн. Максимальное количество волн, распространяющихся на запад, для всех параметров, кроме концентрации аэрозоля наблюдается в зимний период. Это связано со значимостью вариаций, мы просто не обнаруживаем их проявление при малой концентрации аэрозоля. Максимальные амплитуды волн, распространяющихся на запад, практически для всех параметров наблюдаются также в зимний период.

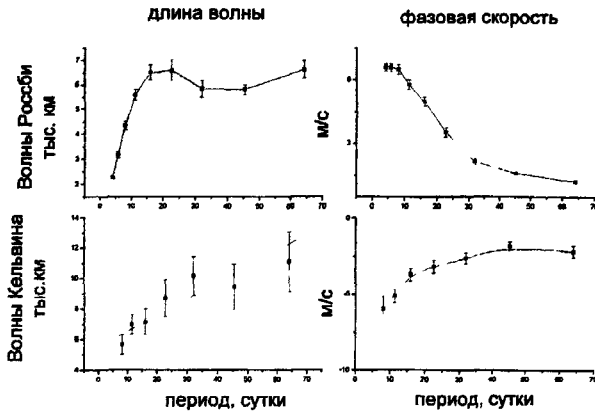


Рис. 8. Параметры внутрисезонных волн в зависимости от периода процесса

всего года. Сезонная зависимость длин этих волн противоположна волнам Россби – максимальные длины волн наблюдаются летом, а минимальные зимой. Максимальное количество волн, распространяющихся на восток, для всех параметров, кроме концентрации NO_2 и SO_2 наблюдается в осенний период. Максимальные амплитуды волн, распространяющихся на восток, практически для всех параметров наблюдаются в зимний период.

По радиозондовым данным исследована вертикальная структура внутрисезонных атмосферных вариаций. Показано, что они проявляются на высотах до 5500 м.

Энергетические соотношения во внутрисезонных волнах показывают, что средняя плотность кинетической энергии для волн, распространяющихся на запад, почти постоянна, а термобарической растет с увеличением длины волны. Для волн, распространяющихся на восток, наблюдается обратная зависимость, но она не значима (Рис. 9). Кинетическая энергия волн, распространяющихся на восток, на высоте 100 м приблизительно равна потенциальной, а для волн, распространяющихся на запад, составляет 46 % от общей энергии. Это соответствует теоретическим выкладкам. Плотность кинетической энергии для волн, распространяющихся на восток, слабо растет с длиной волны.

Амплитуды температуры максимальны для периодов до 10 суток, затем несколько снижаются. Амплитуды скорости ветра и примесей наоборот, больше для волн с периодами более 10 суток.

Фазовые скорости волн, распространяющихся на восток, постоянны в течение

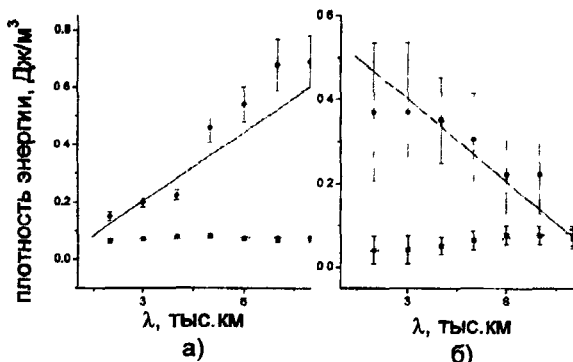


Рис. 9. Средняя плотность энергии для волн, распространяющихся а) на запад б) на восток, в зависимости от масштаба ■ — кинетическая; ● — термобарическая

им, что соответствует поведению пассивных примесей.

Вариации концентрации аэрозоля, диоксида азота и двуокиси серы противофазны вариациям относительной влажности, то есть, в долгопериодных вариациях аэрозоля и малых газовых примесей важнее учитывать механизм вымывания осадками и оседания при увеличении влажности, а не обводнения — высыхания, как в мезомасштабных процессах.

В пятой главе по многолетним ежеминутным синхронным измерениям на сети станций атмосферного мониторинга определен ряд основных характеристик уровня примесей в приземном слое, изучены пространственные, сезонные и суточные вариации среднего уровня загрязнения, влияние погодных условий, исследован вклад вариаций различного масштаба в общую дисперсию атмосферных параметров и примесей в городских условиях.

Амплитуда годового хода преобладает для всех метеопараметров и примесей, кроме окиси углерода, что вызвано, вероятно, сильными суточными вариациями антропогенных источников данной примеси и малым временем жизни молекул СО.

Анализ среднесезонного уровня загрязнения показал, что зимой концентрации NO , NO_2 , CO , SO_2 больше, чем летом в среднем в 1,5 - 2 раза. В то же время массовая концентрация аэрозоля и H_2S в 1,5 - 2 раза больше в летний период, чем зимой.

Преобладающими для концентрации СО и вторыми по интенсивности для остальных атмосферных параметров и примесей являются суточные вариации. Суточный ход NO , NO_2 , CO и массовой концентрации аэрозоля имеют подобный друг другу вид. В летний период наивысшие концентрации примесей наблюдаются с 7 до 10 и с 20 до 23 часов. В зимнее время вечерний максимум наблюдается с 16 до 19 час. При ветре, превышающем среднее значение

Получены экспериментальные поляризационные соотношения, определяющие сдвиги фаз вариаций метеопараметров и атмосферных примесей в планетарных процессах. Для концентрации NO_2 и SO_2 обнаружено, что их внутрисезонные вариации определяются вариациями скорости ветра и противофазны

2 м/с, среднесуточные концентрации примесей значительно меньше и суточные вариации незначимы.

Обнаружено, что вероятности среднечасовых концентраций NO и CO не зависят от относительной влажности воздуха. Незначительное влияние этот параметр оказывает на уровень NO₂ и SO₂. При повышенной влажности несколько падает вероятность увеличения массовой концентрация аэрозоля, что вызвано, по-видимому, оседанием взвешенных частиц за счет увеличения их массы при обводнении. Эта зависимость не проявляется для холодного периода года, что, возможно, является следствием низкого абсолютного содержания водяных паров в зимнем воздухе.

Исследовано антропогенное воздействие на концентрации примесей в приземном слое. Суточные хода концентрации примесей в рабочие и выходные дни показали значимые различия.

Анализ многолетних рядов измерений позволил обнаружить ярко выраженную модуляцию сезонными и синоптическими процессами суточных и мезомасштабных вариаций аэрозоля, газовых примесей и метеопараметров.

Рассчитаны среднемноголетняя и максимальная интенсивность вариаций различного масштаба и вклад в общую дисперсию атмосферных параметров и примесей. У метеопараметров, двуокиси серы и сернистого водорода интенсивность синоптических вариаций сравнима с суточными вариациями и преобладает над мезомасштабными.

Для метеопараметров, аэрозоля и газовых составляющих следует учитывать вклад мезомасштабных вариаций в общую дисперсию. Несмотря на то, что их средний вклад в общую изменчивость примесей составляет 16-20%, в отдельные промежутки времени он может превышать амплитуду суточного хода в несколько раз.

Можно сделать вывод о том, что основные механизмы формирования тонкой пространственно-временной структуры атмосферных примесей это - временные и пространственные вариации мощности источников примесей; годовой и суточный ход метеопараметров; вклад атмосферных волновых процессов в вариации примесей в приземном слое. Суточный и сезонные хода, средний уровень концентрации атмосферных примесей вызваны вариациями мощности антропогенных и иных источников примесей, вариациями метеоусловий, определяющих процессы переноса и турбулентной диффузии. Синоптические, локальные и мезомасштабные вариации модулируют концентрации примесей за счет изменения метеовеличин.

По данным анализа измерений в г. Зеленодольск за 1996-2003 гг. была составлена Таблица 3, характеризующая соотношения интенсивности вариаций различного масштаба для аэрозоля, газовых составляющих и метеопараметров. В табл. 3 интенсивность синоптических, суточных и мезомасштабных вариаций оценивалась с помощью вейвлет анализа, а сезонных - с помощью гармонического анализа. Средние значения интенсивности вариаций подразумевают усреднение за весь период времени в данной области временных масштабов вне зависимости от значимости интенсивности вариаций. Для сравнения при-

ведены средние значения исследуемых величин, а также максимальные и средние значения отношения интенсивности мезомасштабных и суточных вариаций.

Таблица 3

Оценки интенсивности вариаций атмосферных параметров для различных временных масштабов

	среднее значение	Сезонные	Синоптические		Суточные		Мезомасштабные		Отношение интенсивностей Мезо/Суточ	
			макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
T, °C	3.4	14.5	5.8	1.1	5	1.1	2.8	0.3	4	0.6
V, м/с	2	0.5	0.8	0.2	0.7	0.3	0.4	0.1	5.5	0.8
RH, %	74	12	19	4	21	6	11	2	4	0.5
аэрозоль, мкг/м ³	410	119	374	50	350	74	400	50	7	0.9
NO ₂ , мкг/м ³	4.6	1.6	3.2	0.6	8.9	1.1	4.5	0.6	7	0.9
NO, мкг/м ³	2.3	0.7	2.5	0.3	4.6	0.56	8.2	0.4	5	0.8
CO, мкг/м ³	24.2	1.4	18.3	2.9	20	3.9	15	2.7	6.9	1.0
H ₂ S, мкг/м ³	2.6	1.7	2.0	0.3	2	0.3	1.3	0.2	8	0.9
SO ₂ , мкг/м ³	8.5	5.1	6	1.0	7.2	1	4.6	0.6	7.5	0.8

Шестая глава посвящена исследованию пространственно-временных параметров атмосферы, влияющих на распространение электромагнитных волн в тропосфере.

С учетом анализа обширной литературы проводятся исследования таких атмосферных параметров как коэффициент преломления и индекс рефракции, которые влияют на характеристики распространения радиоволн с учетом влияния атмосферных мезомасштабных процессов. В результате исследования получены формулы для коэффициента преломления и индекса рефракции с учетом радиодиапазона и практических задач, в которых они используются (особенностей мезомасштабов, вертикального и горизонтального распространения радиоволн и др.).

Впервые получены многолетние ряды ежеминутных значений коэффициента преломления радиоволн сантиметрового диапазона на сети, которые по-

зволюли построить распределения периодов и для волн мезомасштабных вариаций этого атмосферного параметра в приземном слое.

В главе рассматриваются пространственно-временные вариации коэффициента преломления радиоволн сантиметрового диапазона в нижней тропосфере. По многолетним данным ежеминутных измерений (1996–2003 гг.) исследованы вариации коэффициента преломления и индекса рефракции от мезомасштабных до сезонных. Впервые определены их среднеемноголетние и максимальные значения для различных временных масштабов. К наиболее неожиданным и интересным результатам можно отнести факт значительного превышения интенсивности мезомасштабных вариаций индекса рефракции над суточными в отдельные периоды времени, хотя их средний вклад в общую изменчивость составляет 16–20%. Этот результат можно видеть в Таблице 4.

Последняя строка таблицы дает среднеемноголетний вклад вариаций различного масштаба в общую дисперсию индекса рефракции.

Амплитуда сезонных вариаций преобладает, хотя средний вклад в дисперсию – 18%. Вторыми по интенсивности изменчивости индекса рефракции, а значит и коэффициента преломления, являются суточные вариации. Интенсивность синоптических вариаций слабо преобладает над мезомасштабными, но именно они дают наибольшую изменчивость индекса рефракции.

Таблица 4

Оценки интенсивности вариаций индекса рефракции сантиметровых радиоволн в приземном слое атмосферы для различных временных масштабов

	среднее значение	Сезонные	Синоптические		Суточные		Мезомасштабные		Отношение интенсивностей Мезо/Суточ	
		макс	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
N	329.3	43.9	10.3	2.1	14.5	4.3	7.8	1.25	6.1	0.2
%		18.3	46.1		17.1		18.5		-	

Были исследованы распределения периодов и пространственных масштабов волновых вариаций коэффициента преломления в интервалах периодов 5 мин – 16 часов, 1 – 64 суток. По нашим оценкам, периоды и пространственные масштабы вариаций коэффициента преломления радиоволн полностью соответствуют характеристикам волновых процессов в других атмосферных параметрах. Как и следовало ожидать, вариации коэффициента преломления радиоволн определяются синоптическими, внутрисезонными, локальными и мезомасштабными атмосферными процессами.

На Рис. 10 приведен характерный пример временного ряда коэффициента преломления сантиметровых радиоволн и его ~~испыт~~ преобразование с материнской функцией Морле. Видно, что коэффициент преломления принимает значения от 1,0015 до 1,0055, т.е. динамический диапазон флуктуаций коэффициента преломления имеет величину порядка $4 \cdot 10^{-3}$. Здесь также отчетливо

проявляется влияние суточных вариаций, мезомасштабных волн с периодами 16, 12 часов, а также более коротких. Соответствующие вариации коэффициента преломления имеют порядок $2,8 \cdot 10^{-4}$.

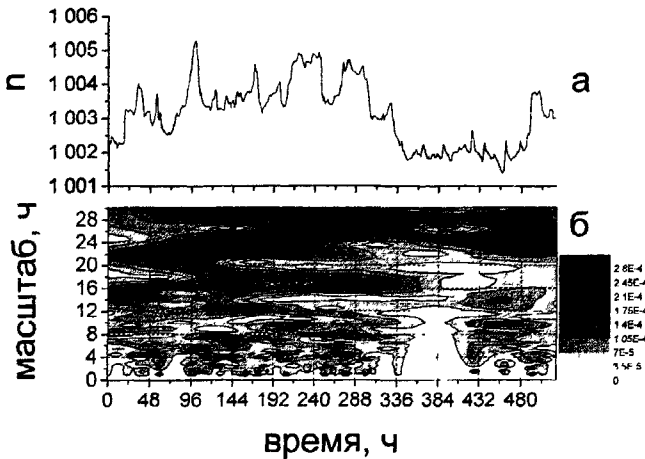


Рис. 10. Временной ряд коэффициента преломления n - (а) и его вейвлет преобразование - (б) за период 01.10.96-22.10.96. Справа – цветовая шкала интенсивности вариаций n .

Длинные ряды экспериментальных данных метеопараметров, измеряемые в приземном слое с помощью сети станций позволили вычислить сезонные и суточные вариации коэффициента преломления. Минимум для сезонного хода индекса рефракции достигается в апреле и равен 305, а максимум равный 338 - в августе. Проведена оценка рефракции радиоволн с учетом и без учета мезомасштабных волн.

Впервые получены оценки влияния мезомасштабных процессов на угол рефракции сантиметровых радиоволн для различных углов места. Вычислялась оценка дисперсии угла возвышения с помощью метода Монте-Карло. Моделировалось изменение индекса рефракции с высотой в виде цуга мезомасштабных вариаций, амплитуды и длины волн которых генерируются по экспериментальному распределению, а фазы имеют равномерное распределение.

В модели учитывается, что волновые вариации могут существовать не во всем пограничном слое, а лишь до какой-либо случайной высоты, далее разрушаясь. Учитывалось распределение влажности и температуры с высотой. Выбор такого метода оценки вполне оправдан тем, что, как показано в гл. 3 и 4, мезомасштабные волны не вполне случайны, они могут быть вызваны oro-

графическими источниками и распространяются на сотни километров. Учитывая, что скорость распространения радиоволн значительно больше, чем скорость мезомасштабных неоднородностей, можно считать, что в течение времени распространения радиосигнала поле коэффициента преломления детер-

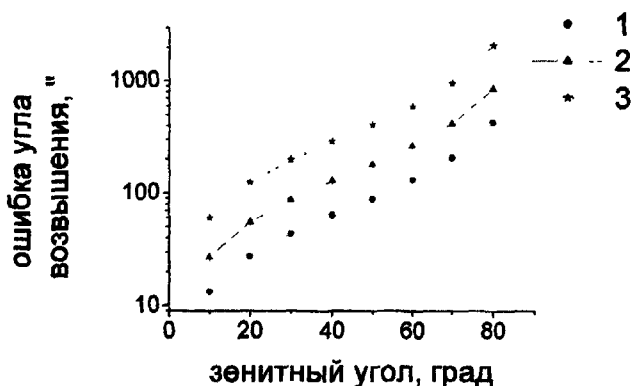


Рис. 11. 1 - систематическая ошибка угла возвышения, рассчитанная без учета мезомасштабных неоднородностей, 2 - систематическая ошибка угла возвышения, рассчитанная с учетом мезомасштабных неоднородностей, 3 - дисперсия ошибки угла возвышения, рассчитанная с учетом мезомасштабных неоднородностей.

минировано и определяется пространственными вариациями температуры, давления и влажности. Результаты представлены на Рис. 11.

Сравнение показало, что ошибки, вносимые мезомасштабными процессами в угол рефракции и фазовые флуктуации, примерно на порядок пре-

выпадают значения, полученные без учета влияния мезомасштабных волн.

Проведен учет влияния мезомасштабных неоднородностей на ошибки определения дальности для горизонтально и вертикально направленных радиотрасс. Показано, что поправка на запаздывание радиосигнала может измениться в два раза, а фазовые флуктуации сантиметровых радиоволн могут измениться на порядок за счет влияния мезомасштабных неоднородностей коэффициента преломления.

Проанализирован механизм рассеяния радиоволн на аэрозолях с целью расчета параметров атмосферы, определяющих ослабление интенсивности радиоволн с учетом мезомасштабных вариаций. Рассмотрено влияние полидисперсных систем сферических частиц на рассеяние электромагнитных волн, особенности распространения радиоволн в дожде, тумане, облаках.

Расчеты объемных коэффициентов рассеяния и ослабления проведены по теории Ми. Проведены количественные расчеты влияния мезомасштабных процессов и их реально измеренных пространственных характеристик на ослабление радиоволн миллиметрового и сантиметрового диапазонов за счет рассеяния и поглощения для различных длин волн, трасс, направлений распро-

странения. Проводится сравнение с имеющимися экспериментальными измерениями ослабления радиоволн на радиотрассах в облаках.

Разработанная методика учета мезомасштабных процессов использовалась также для расчетов влияния дождей на затухание радиоволн миллиметрового и сантиметрового диапазонов.

Получено, что мезомасштабные неоднородности счетной концентрации взвешенных частиц в атмосфере увеличивают дисперсию ослабления радиоволн на трассе, причем дисперсия ослабления растет с длиной трассы, частотой сигнала и величиной относительной влажности воздуха.

Эта же методика позволяет учесть мезомасштабные вариации при ослаблении радиоволн миллиметрового диапазона в облаках при вертикальном и горизонтальном распространении радиоволн.

Решалась задача ослабления интенсивности излучения при рассеянии и поглощении радиоволн на облачных частицах. Рассматривались только тропосферные облака. Спектр аэрозольных частиц по масштабам аппроксимирован распределением Хргиана-Мазина, использовалась модель облака с содержанием воды 0.063 г/м^3 , с концентрацией частиц 100 см^{-3} и наиболее вероятным радиусом частиц 4 мкм.

В таблице 5 приведены оценки коэффициента ослабления для водяного облака водностью 0.063 г/м^3 при распространении радиоволн в одном направлении. Среднеквадратическое отклонение коэффициента ослабления 25-40% от среднего значения. То есть, мезомасштабные процессы, формирующие неоднородную облачную структуру, могут внести неопределенность при определении содержания воды в облаках с помощью метеорадара.

Рассчитаны среднеквадратические значения вариаций коэффициента ослабления в дожде. Дисперсия экспериментальных результатов практически точно укладывается в рассчитанные границы, что свидетельствует о соответствии теоретических расчетов вклада мезомасштабных вариаций в дисперсию ослабления радиоволн в дожде и экспериментальных результатов измерений.

Таблица 5

Коэффициент ослабления (дБ/км) и его среднеквадратическое отклонение при мезомасштабных неоднородностях концентрации частиц для водяного облака водностью 0.063 г/м^3 при распространении радиоволн в одном направлении

Длина волны	3 мм		5 мм		1 см		2 см	
	сред- нее	σ	сред- нее	σ	сред- нее	σ	сред- нее	σ
распрост- ранение								
горизон- тальное	0.638	0.353	0.337	0.353	0.105	0.058	0.028	0.015
верти- кальное	0.626	0.163	0.331	0.086	0.103	0.027	0.027	0.0062

В приложении содержатся дополнительные материалы и документы. Приложение 1 содержит анализ личного вклада автора в публикации основных результатов диссертации в ведущих научных журналах и изданиях, перечень которых утвержден ВАК РФ. В приложении 2 дана копия сертификата станций атмосферного мониторинга на соответствие ГОСТ. Приложение 3 содержит акты (всего пять), подтверждающие внедрение (использование) результатов и выводов диссертационной работы.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработана методика определения параметров перемещающихся волновых квазипериодических вариаций концентрации газовых примесей (окись и двуокись азота, окись углерода, диоксид серы, сероводород), массовой концентрации аэрозоля, атмосферных параметров (температура, давление, относительная влажность, азимут и скорость ветра), измеренных сетью пространственно разнесенных станций.

Методика использует Фурье, вейвлет и взаимное вейвлет преобразования и учитывает совокупность критериев превышения уровня значимости не только для амплитудного, но и для фазового спектров, проверку постоянства фазового спектра на протяжении жизни волны, проверку гипотезы линейности фазовой зависимости в пространстве, что увеличивает статистическую надежность отбора волновых вариаций.

По разработанной методике исследованы локальные, мезомасштабные, синоптические и внутрисезонные пространственно-временные вариации в интервале периодов от 5 мин до 64 суток, с длинами волн 1 - 7000 км по синхронным временным рядам ежеминутных измерений метеопараметров, концентрации малых газовых примесей и аэрозоля с 1996 по 2003 гг. включительно.

2. Мезомасштабные и локальные вариации метеопараметров и примесей с периодами 5 мин - 16 часов имеют фазовые скорости 0.5-50 м/с, пространственные масштабы 1 - 150 км. С ростом периода вариаций средняя фазовая скорость убывает, а длина волны растет.

Обнаружено, что направление распространения приземных мезомасштабных вариаций преимущественно зональное и зависит от азимута среднего ветра. Получено, что дисперсионное соотношение этих вариаций соответствует дисперсионному соотношению для внутренних гравитационных волн.

Установлено, что кинетическая энергия волн составляет в среднем 75 % всей энергии, а среднее значение термобарической энергии в два раза превышает значение упругой энергии. Причем доля термобарической энергии в потенциальной растет с ростом периода вариаций, а упругая энергия возрастает с ростом фазовой скорости.

Рассчитаны вертикальные пространственные масштабы вариаций, они меньше горизонтальных в среднем на два порядка.

Получены поляризационные соотношения для мезомасштабных вариаций атмосферных параметров и примесей.

Совокупность этих результатов свидетельствуют о том, что волновые вариации атмосферных примесей и метеопараметров с периодами от 5 мин до 16 час вызваны в основном ВГВ, источником которых служат орографические неоднородности.

3. Исследованы синоптические и внутрисезонные вариации метеопараметров, массовой концентрации аэрозоля и малых газовых примесей с периодами от 3 до 64 суток. Для внутрисезонных вариаций наиболее вероятные значения длин волн не превышают 5 тыс. км, это показывает, что выделяются лишь высокие моды планетарных волн с зональными волновыми числами большими 4-х.

Для волн, распространяющихся на восток, фазовые скорости обычно менее 10 м/с, кинетическая энергия на высоте 100 м приблизительно равна потенциальной, плотность кинетической энергии слабо растет с длиной волны. Показано, что фазовые скорости возмущений атмосферных параметров, распространяющихся на восток, не имеют зависимости от периода, периоды всегда более 8 суток. Все полученные зависимости этих вариаций согласуются с теоретическими соотношениями для волн Кельвина. Этот результат получен впервые для вариаций примесей в среднеширотной тропосфере.

Для волн распространяющихся на запад фазовые скорости в основном менее 15 м/с, кинетическая энергия на высоте 100 м составляет 46 % от общей энергии, плотность кинетической энергии слабо растет с длиной волны. Средняя плотность кинетической энергии для волн, распространяющихся на запад, постоянна, а термобарической растет с увеличением длины волны. Подавляющее количество волн, распространяющихся на запад, имеет периоды, меньшие 20 суток. Средние фазовые скорости вариаций падают с ростом периода. Все полученные зависимости этих вариаций согласуются с теоретическими соотношениями для волн Россби.

По радиозондовым данным исследована вертикальная структура внутрисезонных атмосферных вариаций. Показано, что они проявляются на всех высотных уровнях до 5500 м.

Получены экспериментальные поляризационные соотношения, определяющие сдвиги фаз вариаций метеопараметров и атмосферных примесей в планетарных процессах.

4. По многолетним ежеминутным синхронным измерениям на сети станций атмосферного мониторинга определен ряд основных характеристик уровня примесей в приземном слое, изучены пространственные, сезонные и суточные вариации среднего уровня загрязнения, влияние на них погодных условий, исследован вклад вариаций различного масштаба в общую дисперсию атмосферных параметров и примесей в городских условиях.

Установлено, что основные механизмы формирования тонкой пространственно-временной структуры атмосферных примесей это - временные и пространственные вариации мощности источников примесей; годовой и суточный ход метеопараметров; вклад атмосферных волновых процессов в вариации примесей в приземном слое.

Рассчитаны среднемноголетняя и максимальная интенсивность вариаций различного масштаба и вклад в общую дисперсию атмосферных параметров и примесей. У метеопараметров, двуокиси серы и сернистого водорода интенсивность синоптических вариаций сравнима с суточными вариациями и преобладает над мезомасштабными. Несмотря на то, что средний вклад мезомасштабных вариаций в общую изменчивость примесей составляет 16-20%, в отдельные промежутки времени он может превышать амплитуду суточного хода в несколько раз.

Суточный и сезонные хода, средний уровень концентрации атмосферных примесей вызваны временными вариациями мощности антропогенных и иных источников загрязнений, вариациями метеоусловий, определяющих процессы переноса и турбулентной диффузии. Синоптические, локальные и мезомасштабные атмосферные вариации модулируют концентрации примесей за счет изменения метеовеличин.

5. Экспериментально получены пространственно-временные характеристики мезомасштабных атмосферных неоднородностей, которые влияют на распространение электромагнитных волн в приземном слое. Впервые проведена оценка влияния мезомасштабных вариаций атмосферных параметров на распространение радиоволн в тропосфере. Впервые получены многолетние ряды ежеминутных значений коэффициента преломления радиоволн сантиметрового диапазона на сети, которые позволили определить распределения периодов и длин волн мезомасштабных вариаций в приземном слое атмосферы.

Впервые получены оценки влияния мезомасштабных процессов на угол рефракции сантиметровых радиоволн для различных углов места. Сравнение показало, что ошибки, вносимые мезомасштабными процессами в угол рефракции и фазовые флуктуации, примерно на порядок превышают значения, полученные без учета влияния мезомасштабных волн.

Проведен учет влияния мезомасштабных неоднородностей на ошибки определения дальности для горизонтально и вертикально направленных радиотрасс. Показано, что поправки на запаздывание могут измениться в два раза, а фазовые флуктуации сантиметровых радиоволн могут измениться на порядок за счет влияния мезомасштабных неоднородностей коэффициента преломления.

Проведен анализ механизма рассеяния радиоволн на полидисперсных системах сферических частиц с учетом мезомасштабных вариаций их концентрации. Рассмотрены особенности распространения радиоволн в дожде, тумане, облаках. Установлено, что мезомасштабные неоднородности счетной концен-

трации взвешенных частиц в атмосфере увеличивают разброс ослабления радиоволн на трассе, причем дисперсия ослабления растет с длиной трассы и частотой сигнала.

Таким образом, в работе исследованы пространственно-временные закономерности структуры локальных, мезомасштабных, синоптических и внутрисезонных вариаций массовой концентрации аэрозоля, малых газовых примесей и атмосферных параметров по результатам многолетних синхронных ежеминутных измерений на сети станций атмосферного мониторинга в приземном слое. Результаты работы в целом вносят значительный вклад в развитие научного направления, имеющего важное народнохозяйственное значение.

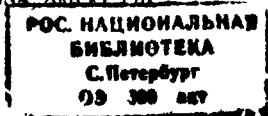
Основные публикации по теме диссертации

1. Хуторова О.Г. Волновые процессы в приземной атмосфере по синхронным измерениям примесей и метеопараметров Казань: Центр инновационных технологий, 2005.- 275 с.
2. Хуторова О.Г. Волновые возмущения локальных и синоптических масштабов по синхронным измерениям атмосферных примесей / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Доклады РАН, 2005.- Т.400.- № 1.-С. 110-112.
3. Хуторова О.Г. Исследование мезомасштабных вариаций в тропосфере по наблюдениям концентрации примесей / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Изв. АН Физика атмосферы и океана. – 2001.- Т.37.- № 6.- С.853-856.
4. Хуторова О.Г. Временные вариации аэрозоля и малых газовых примесей в приземном городском воздухе / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2003,- Т. 39.- № 6.-С.782-790.
5. Khoutorova O.G. Waves in air impurities and their influence on atmospheric optical properties / Khoutorova O.G., Douryagin D.N., Vasilyev A.A. at al. // Atmos. Environ., 2001.- V. 35.- № 30.- P.5131-5134.
6. Хуторова О.Г. О периодической структуре приземных полей концентрации аэрозолей суммарного атмосферного белка в окрестностях г. Новосибирска / Бородулин А.И., Сафатов А. С., Хуторова О.Г. и др. // Доклады РАН, 2003,- Т.392.- № 2.-С.280-282.
7. Хуторова О.Г. Оценка оптической толщины при распространении электромагнитных волн в турбулентной нижней ионосфере / Стенин Ю.М., Тептин Г.М., Хуторова О.Г., Дурыгин П.Н. // Доклады РАН, 1999 - Т. 365.- № 1.- С.120-122.
8. Хуторова О.Г. Периодическая структура полей концентрации биоаэрозолей в тропосфере юга западной Сибири / Бородулин А.И., Сафатов А. С., Ярыгин А.А. и др.// Доклады РАН, 2004,- Т.393.- № 8.-С.280-282.
9. Хуторова О.Г. Сезонная изменчивость спектра вариаций атмосферных параметров приземного слоя / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Оптика атмосферы и океана, 2003,- Т. 16.- № 7.-С. 645-647.

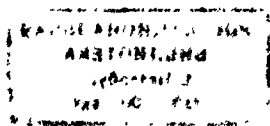
10. Хуторова О.Г. Эмпирическая модель взаимодействия аэрозоля и химических примесей в урбанизированных условиях / Хуторова О.Г., Тептин Г.М., Латыпов А.Ф. // *Оптика атмосферы и океана*, 2000.- Т. 13.- № 6-7.- С. 678-680.
11. Хуторова О.Г. Рефракция электромагнитных волн в реальной турбулентной атмосфере с загрязнениями / Журавлев А.А., Хуторова О.Г. // *Оптика атмосферы и океана*, 2001.- Т.14.- № 2.- С.137-141.
12. Хуторова О.Г. Пространственная структура мезомасштабных неоднородностей концентрации примеси в нижней тропосфере / Журавлев А.А., Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // *Оптика атмосферы и океана*, 2001 - Т. 14.- № 6-7.- С. 543-546.
13. Хуторова О.Г. Периодическая структура приземных полей концентрации аэрозолей, содержащих атмосферный блок, в окрестностях г. Новосибирска / Бородулин А.И., Сафатов А. С., Шабанов А.Н. и др.// *Оптика атмосферы и океана*, 2004.- Т.17.- № 5-6.-С.457-460.
14. Хуторова О.Г. Периодическая структура полей концентрации биоаэрозолей в тропосфере юга западной Сибири / Бородулин А.И., Сафатов А. С., Ярыгин А.А. и др.// *Оптика атмосферы и океана*. 2005. т.18. № 5-6.-С. 502-505.
15. Хуторова О.Г. О природе мезомасштабных вариаций концентрации приземных атмосферных примесей / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // *Оптика атмосферы и океана*, 2005.- т.18.- № 5-6. -С.425-429.
16. Хуторова О.Г. Модель среднеширотного спектра турбулентных флуктуаций градиента электронной концентрации / Тептин Г.М., Хуторова О.Г., Журавлев А.А. // *Геомагнетизм и аэронавигация*, 2002, т. 42, № 2.- С.235-238.
17. Хуторова О.Г. Исследование пространственной структуры мезомасштабных вариаций тропосферного аэрозоля различными методами / Хуторова О.Г., Корчагин Г.Е. // *Оптика атмосферы и океана*, 2001.- Т. 14.- № 6-7.- С. 650-654.
18. Хуторова О.Г. Взаимосвязь вариаций приземной концентрации атмосферных примесей в двух промышленных регионах Татарстана // *Оптика атмосферы и океана*, 2004.- Т.17.- № 5-6.-С.526-529.
19. Хуторова О.Г. Исследование антропогенной составляющей суточной изменчивости концентрации газовых составляющих и аэрозоля в городском воздухе / Журавлев А.А., Тептин Г.М., Хуторова О.Г. // *Оптика атмосферы и океана*, 2002.- Т. 15.- № 10.- С. 929-934.
20. Хуторова О.Г. Вейвлетная структура полей концентрации суммарного атмосферного белка в приземном слое атмосферы в окрестностях Новосибирска / Бородулин А.И., Сафатов А. С., Хуторова О.Г. и др. // *Метеорология и гидрология*, 2003.- № 2.-С.72-78.
21. Khutorova O.G. Time variations of aerosol and polluting impurities / Khutorova O.G., Douragin D.N. // *J. Aeros. Sci.*, 1999.- V.30.- № S1.- P. S235-S236.
22. Khutorova O.G. Spectra of tropospheric aerosol's and polluting impurities variations // *J. Aeros. Sci.*, 1999.- V.30.- № S1.- P. S335-S336.

23. Khutorova O.G. Physical characteristics of concentration fields of tropospheric bioaerosols in the south of western siberia / Borodulin A.I., Safatov A.S., Shabanov A.N. at al. // *J. Aeros. Sci.*, 2005.- V. 36. - P. 785-800.
24. Хуторова О.Г. Метод выделения перемещающихся возмущений по синхронным временным рядам / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Прием и обработка сигналов в сложных информационных системах, Вып. 21, Казань: 2003.-С.133-139.
25. Khutorova O.G. Seasonal variations of impurities of the troposphere from the measurements by automatic station Zelenodolsk / Shepovskih A.I., Safin R.N., Khutorova O.G. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 1997.- V.3.- № 3.- P. 19-28.
26. Khutorova O.G. Refraction of radiowaves in the troposphere with pollutions / Khutorova O.G., Andrianov N.S., Zhuravlev A.A. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 1999.- V.5.- № 1.- P11-17.
27. Khutorova O.G. Periodic structure of concentration fields of atmospheric bioaerosols in the troposphere of the south of western Siberia / Borodulin A.I., Safatov A.S., Khutorova O.G. at al. // *J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC*, 2004, V.I.- P.603-604.
28. Khutorova O.G. A relationship between concentration of various polluting impurity in a low layer of an atmosphere / Teptin G.M., Khutorova O.G., Latypov A.F. at al. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 1998.- V.3.- № 3.- P. 19-28.
29. Khoutorova, O. G. The modelling of scattering of both millimetric and submillimetric as well as optical radiowaves by two-layered particles / Teptin G.M., Alexandrov, A. V., Khoutorova, O. G. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2004.- V.10.- № 2.- P.31-44.
30. Khoutorova O.G. Waves in air impurities and their influence on atmospheric optical properties / Khoutorova O.G., Douryagin D.N., Vasilyev A.A. at al. // *Conference on aerosol and Atmospheric Optics Abstracts*, Vienna: 2000.- P.49-50.
31. Khoutorova O.G. The effect of local orography in modelling of atmospheric parameters / Zinin D.P., Khoutorova O.G. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2004.- V.10.- № 2.- P.14-30.
32. Khoutorova O.G. The altitude seasonal variations of atmospheric parameters at heights 0-5000 m / Khoutorova O.G., Shlychkov A.P. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2004.- V.10.- № 1.- P.18-21.
33. Khoutorova O.G. Planetary waves effects in the bottom impurities // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2002.- V.8.- № 4.- P. 21-26.
34. Khoutorova O.G. Method of investigation atmospheric waves by the net of impurities concentration measurements / Khoutorova O.G., Teptin G.M., Korchagin G.E // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2000.- V.6.- № 2.- P11-16.
35. Khoutorova O.G. Influence of seasonal impurities variations in bottom layer on the turbulent phenomena's seasonal characteristic in the middle atmosphere / Fakhrtudinov R.H., Khoutorova O.G. // *Environmental radioecology and applied ecology*, 2001.- V.7.- № 4.- P11-16.

36. Khoutorova O.G. Experimental investigation of mesoscale inhomogeneities of atmospheric aerosols and impurities / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // Environmental radioecology and applied ecology, 2000.- № 3.- P. 15-19.
37. Khoutorova O.G. About appraisalment of seasonal variations of the impurities concentrations in the low atmosphere / Fakhrtdinov R.H., Khoutorova O.G. // Environmental radioecology and applied ecology, 2002.- V.8.- № 3.- P.17-23.
38. Khoutorova O. G. The scattering of radio waves by aerosol two-layered particles in the turbulent lower atmosphere / Alexandrov A. V., Teptin G. M., Khoutorova O. G. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2003.- V.34.- № S1.-P. 521-522.
39. Khoutorova O.G. Wavelet structure of atmospheric total protein on-ground concentration in the vicinity of Novosibirsk city / Borodulin A.I., Safatov A.S., Khoutorova O.G. at al. // AAAR Abstracts, USA, 2003.- P.49.
40. Khoutorova O.G. Temporal variation of spatial structure in tropospheric aerosol inhomogeneity / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2001.- V.32.-№ S1.-P 155-156.
41. Khoutorova O.G. Synoptic scales in the tropospheric aerosol dynamics / Khoutorova O.G., Teptin G.M. // AAAR Abstracts, Charlotta, USA, 2002.- P.452.
42. Khoutorova O.G. Spectral analysis of urban aerosol mass concentration and chemical impurities in the bottom layer / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2004, V.II.- P.557-558.
43. Khoutorova O.G. Spatial structure of atmospheric aerosols in comparison with variations of meteoroparameters / Khoutorova O.G., Teptin G.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2003.- V.34.- № S1.- P. 355-356.
44. Khoutorova O.G. Spatial relation of nearground atmospheric impurities concentration in two industrial regions of Tatarstan / Khoutorova O.G., Teptin G.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2004, V.II - P 1257-1258.
45. Khoutorova O.G. Synoptic and mesoscale variation of atmospheric aerosols and gaseous impurities / O.G. Khoutorova, G.M. Teptin // Sixth International Aerosol Conference Abstracts. -Taipei, 2002. -P.811-812.
46. Khoutorova O.G. Seasonal variations of meteoroparameters influence on mass concentration of urban aerosol / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2003.- V.34.- № S1.-P. 521-522.
47. Khoutorova O.G. Seasonal changes of spectra of mesoscale waves from several year synchronous measurements of atmospheric aerosols and pollutants / Khoutorova O.G., Teptin G.M., Bashenov A.M. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2004, V.I.- P.545-546.
48. Khoutorova O.G. Seasonal and daily variation of atmospheric aerosols / Khoutorova O.G., Teptin G.M. // AAAR Abstracts, USA, 2001.-P. 514.
49. Khoutorova O.G. Planetary waves effects in the tropospheric aerosol / Khoutorova O.G. Teptin G.M. // AAAR Abstracts, USA, 2001.- P.176.



50. Khoutorova O.G. Empirical structure of mesoscale turbulence at different meteorological condition / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // AAAR Abstracts, USA, 2001.- P 139
51. Khoutorova O.G. Empirical Model of Mesoscale Turbulence / Khoutorova O.G., Teptin G.M., Zhuravlev A.A. // AAAR Abstracts, USA, 2000.- P422.
52. Khoutorova O.G. Air pollutions variations in the urban region of Eastern Europe // AAC Abstracts. – Nagoya: 1999. – V.1. – P.93-94.
53. Khoutorova O.G. Meteoroparameters influence on aerosol mass concentration / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // AAAR Abstracts, USA, 2003 - P.31
54. Khoutorova O.G. Mesoscale Wave Disturbances in the Tropospheric Aerosol / Khoutorova O.G., Korchagin G.A., Vasilyev A.A. // AAAR Abstracts, USA: 2000.- P.416.
55. Khoutorova O.G. Mesoscale fluctuation in atmospheric aerosols / Khoutorova O.G., Korchagin G.E. // J. Aeros. Sci. Abstracts of the EAC, 2001.- V.32.-№ S1. –P. 731-732.
56. Khoutorova O.G. Longperiod waves in atmospheric aerosols / Khoutorova O.G., Ryabchenko E.A. // AAAR Abstracts, USA, 2000.- P262.
57. Khoutorova O.G. Investigation of meteorological conditions influence on urban aerosol concentration / Jouravlev A.A., Khoutorova O.G., Teptin G.M. // AAAR Abstracts, Charlottesville, USA, 2002.- P.491
58. Khoutorova O.G. Investigation of mesoscale disturbances in the tropospheric aerosol by wavelet analysis / Khoutorova O.G., Korchagin G.E. // AAAR Abstracts, USA, 2001.- P106.
59. Khoutorova O.G. Periodic Structure of Concentration Fields of Atmospheric Bioaerosols in the South of Western Siberia / Borodulin A.I., Safatov A.S., Khoutorova O.G. et al. // AAAR Abstracts.- Atlanta, USA, 2004.- P. 155.
60. Хуторова О.Г. Эмпирическая модель мезомасштабных неоднородностей в нижней тропосфере / Хуторова О.Г., Тептин Г.М., Журавлев А.А. // Тез. VII Рабочей группы "Аэрозоли Сибири". Томск, 2000.-С.68.
61. Хуторова О.Г. Учет волновых процессов в атмосфере при рассеянии электромагнитных волн на аэрозолях / Хуторова О.Г., Тептин Г.М., Дурягин Д.Н. и др. // Тез. VI Рабочей группы "Аэрозоли Сибири". Томск, 1999.-С.58.
62. Хуторова О.Г. Современные проблемы распространения радиоволн в средах со случайными неоднородностями / Стенин Ю.М., Тептин Г.М., Хуторова О.Г. и др. // Труды XIX Всероссийской конф. «Распространение радиоволн» Казань, 1999.-С. 21-22.
63. Хуторова О.Г. Рефракционные явления в реальной турбулентной атмосфере с примесями / Хуторова О.Г., Журавлев А.А., Тептин Г.М. // Труды XX Всероссийской конф. «Распространение радиоволн» - Н.Новгород, 2002.-С. 222-223.
64. Хуторова О.Г. Результаты вейвлет анализа сигналов содара / Одинцов С.Л., Хуторова О.Г. //Тез. X Рабочей группы "Аэрозоли Сибири".- Томск, 2003.-С.45.



65. Хуторова О.Г. Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере с химическими загрязнениями / Хуторова О.Г., Журавлев А.А. // Труды XIX Всероссийской конф. «Распространение радиоволн» Казань, 1999.-С. 309-310.
66. Хуторова О.Г. Пространственная структура мезомасштабных вариаций тропосферного аэрозоля / Хуторова О.Г., Тептин Г.М., Журавлев А.А. и др. // Труды Международной аэрозольной конф. памяти проф. Сутугина А.М. М: 2000.-С. 167-171.
67. Хуторова О.Г. Применение вейвлет преобразования для анализа временных рядов наблюдений характеристик байкальского аэрозоля / Каплинский А.Е., Хуторова О.Г. // Тез. XI Рабочей группы "Аэрозоли Сибири".- Томск, 2004.-С. 13.
68. Хуторова О.Г. Оценки распространения примеси от региональных источников с учетом данных эмпирической модели / Морозова Л.В., Хуторова О.Г. // Тез. X Рабочей группы "Аэрозоли Сибири".-Томск, 2003.-С.45.
69. Хуторова О.Г. О долгопериодных вариациях концентрации аэрозоля и других примесей в приземном слое атмосферы / Фахртдинов Р.Х., Хуторова О.Г. // Тез. IX Рабочей группы "Аэрозоли Сибири", Томск, 2002.-С.62.
70. Хуторова О.Г. Моделирование рефракции радиоволн в турбулентной среднеширотной ионосфере / Хуторова О.Г., Журавлев А.А., Тептин Г.М. // Труды XX Всероссийской конф. «Распространение радиоволн»- Н.Новгород, 2002.-С.476-477.
71. Хуторова О.Г. Исследование вариаций атмосферных параметров в приземном слое с помощью вейвлет анализа / Хуторова О.Г., Тептин Г.М. // Материалы Всероссийской научной конф. «Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы» М, МГУ:, 2002.- С.112-113.

Подписано в печать 27.07.05. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 2,25.
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Центре инновационных технологий
420111, г. Казань, ул. К. Фукса, 11/6
Тел. 38-97-56

№14801

РНБ Русский фонд

2006-4

11878